不同寄主植物对二点委夜蛾幼虫抗寒性的影响

秦华伟, 门兴元, 于 毅, 卢增斌, 孙廷林, 周仙红, 李丽莉*

(山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100)

摘要:【目的】探讨取食不同寄主植物对二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Möschler)老熟幼虫抗寒性的影响。【方法】室内分别用棉花、花生、大豆、甘薯及玉米的幼嫩叶片饲养二点委夜蛾4龄幼虫6 d至老熟,测定二点委夜蛾老熟幼虫过冷却点、结冰点、鲜重、含水量、脂肪、糖原和山梨醇含量。【结果】二点委夜蛾老熟幼虫取食不同寄主植物叶片后结冰点、鲜重、脂肪含量、糖原含量有显著差异。取食大豆叶片后结冰点最高(–2.80℃),鲜重最低(0.056 g),脂肪含量最低(12.47%);取食棉花叶片后结冰点最低(–5.45℃),脂肪含量最高(32.12%),糖原含量最高(54.07 mg/g);取食玉米叶片后鲜重最高(0.118 g)。取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫过冷却点、含水量、山梨醇含量没有显著差异。【结论】寄主植物对二点委夜蛾老熟幼虫过冷却点没有显著影响,而影响到其体重及脂肪和糖原含量。

关键词: 寄主植物; 二点委夜蛾; 抗寒性; 过冷却点; 脂肪; 糖原

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2017)02-0205-06

Effects of host plants on the cold hardiness of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae

QIN Hua-Wei, MEN Xing-Yuan, YU Yi, LU Zeng-Bin, SUN Ting-Lin, ZHOU Xian-Hong, LI Li-Li*

(Key Laboratory for Plant Virology of Shandong, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract:【Aim】This study aims to assess the influence of host plants on the cold hardiness of *Athetis lepigone* mature larvae.【Methods】The 4th instar larvae of *A. lepigone* were fed with leaves of cotton, peanut, soybean, sweet potato and maize, respectively, for 6 d to maturity. The supercooling point, freezing point, fresh body weight, water content, and fat, glycogen and sorbitol contents of *A. lepigone* mature larvae were measured.【Results】The freezing point, fresh body weight, and the contents of fat and glycogen significantly differed among mature larvae of *A. lepigone* fed with leaves of different host plants. The larvae fed with soybean leaves had the highest freezing point (–2.80℃) and the lowest fresh weight (0.056 g) and fat content (12.47%). The larvae fed with cotton leaves had the lowest freezing point (–5.45℃), and the highest fat (32.12%) and glycogen contents (54.07 mg/g). The fresh body weight of larvae fed with maize leaves was the highest (0.118 g). There were no significant differences in the supercooling point, water content and sorbitol content among mature larvae fed with different plant leaves.【Conclusion】The host plants have no significant influence on the supercooling point of mature larvae of *A. lepigone*, but have significant influence on their fresh body weight and fat and glycogen contents.

Key words: Host plant; *Athetis lepigone*; cold hardiness; supercooling point; fat; glycogen

基金项目: 国家公益性行业科研项目(201303026); 山东省重大应用技术创新项目(CXGC2016A09); 山东省重大应用创新项目"基于生物防治的粮食作物病虫害安全防控技术模式研究与示范"

作者简介: 秦华伟, 女, 1981年, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事农业害虫综合治理研究, E-mail: 645728947@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zbsli3@163.com

收稿日期 Received: 2016-10-26; 接受日期 Accepted: 2017-01-04

越冬是昆虫抵御不良环境,完成生活史的一种生活策略,昆虫在长期的进化过程中已形成了对低温的适应性。然而,在自然条件下仍有许多因素影响昆虫的耐寒性,其中寄主植物就是影响昆虫越冬的重要因素之一(景晓红和康乐, 2004; 程文杰等, 2010)。不同寄主植物提供的营养成分不尽相同,昆虫在越冬前取食不同的寄主植物,影响其体内抗寒物质的构成和积累,导致抗寒性存在差异(曹婧等, 2015)。徐丽荣等(2012)研究发现,桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* (Guenée)幼虫取食玉米时生长更快,越冬幼虫体重、脂肪含量以及过冷缺点均显著高于取食高粱和向日葵。杨燕涛等(2003)对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)的研究结果显示,取食棉花产生的滞育蛹过冷却点显著低于取食玉米的滞育蛹,认为取食棉花的棉铃虫幼虫的抗寒能力高,但用 Bt 棉喂养后其抗寒能力下降。取食不同寄主的桃小食心虫 *Carposina sasakii* (Matsumura)抗寒能力也存在显著差异,取食苹果的桃小食心虫的过冷却点和结冰点最低,取食枣的总脂肪含量最高,取食山楂的糖原含量最高(王鹏等, 2014)。因此,探究寄主植物对昆虫抗寒性的影响,有助于明确取食不同植物对昆虫耐寒性的影响,为预测来年害虫种群发生趋势及利用作物布局控制害虫奠定理论基础。

二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Möschler)属鳞翅目夜蛾科,在亚洲和欧洲都有分布(姜京宇等, 2008),2005 年在我国河北首次发现其幼虫危害玉米(姜京宇和席建英, 2006),此后在华北地区陆续暴发成灾(石洁等, 2011)。人工饲料饲养条件下其幼虫有 5 个龄期,共 18.28 d,其中 4 龄为暴食期(江幸福等, 2011; 李召波等, 2014),幼虫食性杂,不仅危害玉米、小麦、花生、大豆、甘薯等多种作物(许昊等, 2012),还可取食腐烂的麦秆以及膨胀的麦粒和萌发的麦苗(姜玉英等, 2011)。多项调查结果表明二点委夜蛾是以休眠的老熟幼虫在棉田、花生田、大豆田、甘薯田等多种田块的残留秸秆枝叶下结土茧或叶茧越冬,棉田虫源越冬存活率相对较大(许昊等, 2012; 张海剑等, 2012)。目前,已有学者对二点委夜蛾的耐寒性进行了研究,刘玉娟等(2014)研究发现,其过冷却点在越冬初期、越冬期和越冬末期差异显著,越冬期最低,越冬初期最高,且其体内的抗寒物质也存在差异,越冬初期的脂肪和糖原含量最高,越冬期糖原含量最低。马继芳等(2011)研究发现,不同食物饲养的二点委夜蛾幼虫的过冷却点没有显著差异,但并未测定其抗寒性物质。此外,山梨醇也是重要的耐寒物质,能减少水分的流动性以及快速结冰造成的损伤,还可通过溶质效应降低体液的过冷却点和结冰点从而增强昆虫的抗寒性(韩瑞东等, 2005)。鉴于此,本研究在室内条件下测定了取食玉米、棉花、花生、大豆和甘薯 5 种寄主植物的二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点、结冰点、鲜重、含水量、脂肪含量、糖原和山梨醇含量,旨在明确不同寄主植物对二点委夜蛾抗寒性的影响,为深入研究二点委夜蛾的抗寒机制积累数据,同时为其综合防控提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

二点委夜蛾为室内人工饲料饲养 4 代的实验种群,在饲养条件为温度 26 ± 1℃、相对湿度 70% ± 10%、光周期 16L∶8D 的人工气候室中饲养。将单头初孵幼虫置于指形管(直径 2.0 cm,高度 8.0 cm)中,人工饲料(李丽莉等, 2013)饲养至 4 龄,作为供试虫源。

1.2 供试寄主

供试寄主植物有 5 种:玉米 *Zea mays* L. 品种为鲁单 9032;棉花 *Gossypium hirsutum* L. 品种为鲁棉 28;花生 *Arachis hypogaea* L. 品种为 9616;大豆 *Glycine max* (L.) Merr. 品种为荷豆 12;甘薯 *Ipomoea batatas* (L.) Lam. 品种为鲁薯 7 号(山东省农业科学院作物研究所提供)。供试寄主均于 2015 年 5 月 8 号种植于山东省农业科学院植物保护研究所的试验基地内,常规田间管理,生长期内不使用任何农药。

1.3 二点委夜蛾老熟幼虫过冷却点和结冰点的测定

将二点委夜蛾 4 龄幼虫饥饿处理 12 h 后,分别用玉米、棉花、花生、大豆和甘薯的幼嫩叶片饲养,每天更换新鲜叶片,饲养 6 d 至老熟。采用热电偶法测定其过冷却点和结冰点,用 SUN-II 型智能昆虫过冷却点测定仪测定,具体方法参见王鹏等(2011)。每处理测定 30 头。

1.4 二点委夜蛾老熟幼虫鲜重、含水量和脂肪含量的测定

将二点委夜蛾老熟幼虫单头编号并采用万分之一天平〔CP214,奥豪斯仪器(上海)有限公司〕称其鲜重(fresh weight, FW)。而后置于 60℃ 的高温干燥箱烘 48 h,称其干重(dry weight, DW),计算含水量。含水量的计算公式:含水量(%) = [(FW −

DW)/FW] ×100%。每处理测定 30 头。

采用 Folch 等方法(1957),取测完含水量的二点委夜蛾虫体,加入 2 mL 氯仿和甲醇的混合液(氯仿: 甲醇 =2∶1, v/v),单头研磨匀浆,2 600 g 离心 10 min 后去上清,在残渣中再加入 2 mL 氯仿和甲醇的混合液,重复离心一次,将残渣置于 60℃ 的烤箱中烘 72 h,计算脂肪含量。脂肪含量(%) =[(DW - CDW)/DW] ×100%。每处理测定 30 头。

1.5　二点委夜蛾老熟幼虫糖原和山梨醇含量的测定

糖原含量的测定:采用蒽酮法测定,620 nm 处测定其吸光值。

山梨醇含量的测定:采用分光光度法,山梨醇在碱性溶液中与铜离子形成蓝色络合物,在 655 nm 波长有特征吸收峰。

以上 2 种物质含量均选用苏州科铭生物技术有限公司生产的微量法试剂盒进行测定,在 EMaxPlus Molecular Devices 酶标仪〔美谷分子仪器(上海)有限公司生产〕上进行。每处理均重复 3 次,每重复用虫 10 头。

1.6　数据处理

采用 SPSS Statistics 19.0 统计软件中的单因素方差分析(one-way ANOVA),采用 Tukey 氏法进行多重比较。显著水平设置为 $P = 0.05$。

2　结果

2.1　取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点和结冰点

由表 1 可以看出,取食大豆叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点最高,为 -8.25℃,取食棉花叶片的最低,为 -10.81℃,但不同寄主植物对二点委夜蛾老熟幼虫过冷却点没有显著影响($F = 1.92$, $df = 4,145$, $P > 0.05$)。

取食不同寄主植物叶片对二点委夜蛾老熟幼虫结冰点有显著影响($F = 4.705$, $df = 4,145$, $P < 0.05$),取食大豆叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的结冰点最高,为 -2.80℃,显著高于取食棉花、甘薯以及花生叶片的老熟幼虫,而与取食玉米叶片的老熟幼虫没有显著差异,取食棉花、甘薯及花生叶片的老熟幼虫的结冰点之间没有显著差异(表 1)。

2.2　取食不同寄主植物叶片后二点委夜蛾老熟幼虫的鲜重、含水量以及脂肪含量

由表2可以看出,取食不同寄主植物叶片对二点委夜蛾老熟幼虫鲜重有显著影响($F = 17.034$, $df = 4,145$, $P < 0.05$),取食玉米叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的鲜重最高,为 0.118 g,显著高于取食其他几种寄主叶片的鲜重,其次为甘薯、棉花和花生,取食大豆叶片的鲜重最低,仅为 0.056 g。

表 1　取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点和结冰点

Table 1　Supercooling point and freezing point of mature larvae of *Athetis lepigone* fed with leaves of different host plants

寄主植物 Host plants	过冷却点(℃) Supercooling point	结冰点(℃) Freezing point
玉米 Corn	-9.44 ±0.68 a	-4.24 ±0.37 ab
棉花 Cotton	-10.81 ±1.05 a	-5.45 ±0.56 a
花生 Peanut	-9.00 ±0.36 a	-4.44 ±0.29 ab
大豆 Soybean	-8.25 ±0.30 a	-2.80 ±0.38 b
甘薯 Sweet potato	-10.60 ±1.10 a	-5.05 ±0.62 a

表中数据为平均值 ± 标准误;同列数据后不同字母表示 Tukey 氏法多重比较差异显著($P < 0.05$)。下表同。The data in the table are means ± *SE*. Different letters following the data in a column indicate significant difference at the 0.05 level by Tukey's range test. The same for the following tables.

如表 2 所示,取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫含水量在 76.12% ~79.55% 之间,取食不同寄主植物叶片间没有显著差异($F = 1.245$, $df = 4,145$, $P > 0.05$)。

由表 2 可知,取食不同寄主植物叶片对二点委夜蛾老熟幼虫脂肪含量有显著影响($F = 11.272$, $df = 4,145$, $P < 0.05$),取食棉花叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的脂肪含量最高,为 32.12%,取食大豆叶片的脂肪含量最低,仅为 12.47%。取食棉花叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的脂肪含量显著大于取食甘薯和大豆叶片的,与取食玉米和花生叶片的没有显著差异。

2.3　取食不同寄主植物叶片后二点委夜蛾老熟幼虫的糖原和山梨醇含量

由表 3 可以看出,取食不同寄主植物叶片对二点委夜蛾老熟幼虫糖原含量有显著影响($F = 17.864$, $df = 4,145$, $P < 0.05$),取食棉花叶片的糖原含量最高,为 54.07 mg/g,取食棉花、玉米、花生叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的糖原含量显著大于取食大豆和甘薯叶片的。

由表 3 可知,取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫山梨醇含量在 9.30 ~15.91 mg/g 之间,不同寄主植物间没有显著差异($F = 1.544$, $df = 4,145$, $P > 0.05$)。

表 2 取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的鲜重、含水量以及脂肪含量

Table 2 Fresh body weight, water content and fat content of mature larvae of *Athetis lepigone* fed with leaves of different host plants

寄主植物 Host plants	鲜重(g) Fresh weight	含水量(%) Water content	脂肪含量(%) Fat content
玉米 Corn	0.118±0.006 a	77.12±0.99 a	28.56±2.58 ab
棉花 Cotton	0.084±0.006 b	76.12±1.30 a	32.12±2.32 a
花生 Peanut	0.079±0.007 b	78.59±1.68 a	27.49±2.45 ab
大豆 Soybean	0.056±0.002 c	79.55±0.68 a	12.47±1.14 c
甘薯 Sweet potato	0.093±0.005 b	78.82±1.35 a	21.36±2.66 bc

表 3 取食不同寄主植物叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的糖原和山梨醇含量

Table 3 Glycogen and sorbitol contents in mature larvae of *Athetis lepigone* fed with leaves of different host plants

寄主植物 Host plants	糖原含量(mg/g) Glycogen content	山梨醇含量(mg/g) Sorbitol content
玉米 Corn	53.90±3.25 a	15.91±3.44 a
棉花 Cotton	54.07±4.95 a	9.30±1.57 a
花生 Peanut	48.32±2.40 a	15.61±1.56 a
大豆 Soybean	27.40±3.61 b	15.51±2.79 a
甘薯 Sweet potato	26.21±1.23 b	13.01±1.03 a

3 讨论

过冷却点是衡量昆虫耐寒性的一个重要指标，与昆虫的低温忍耐能力密切相关(景晓红和康乐等, 2004)。寄主植物可能对昆虫的过冷却点产生显著影响，郑霞林等(2012)发现，寄主植物引起甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)耐寒性差异，取食甘蓝的甜菜夜蛾 3 龄幼虫的过冷却点显著低于取食小白菜、葱和菠菜的。但鹿金秋等(2009)在 2006 和 2007 年分别对取食向日葵和高粱，玉米和向日葵的桃蛀螟越冬老熟幼虫的过冷却点进行比较后，发现取食向日葵、高粱和玉米的桃蛀螟幼虫过冷却点没有显著差异。本研究结果表明取食不同寄主植物的二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点没有显著差异，这与马继芳等(2011)研究结果一致，不同食物饲养的二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点差异不显著，这可能与二点委夜蛾自身的杂食性有关，为保证种群更好地存活繁衍，多变的食物种类要求其有较强自身调节能力，根据食物调节体内各物质的含量。

寄主植物会影响昆虫体内抗寒性物质的积累以及与昆虫抗寒力相关的虫体重量和含水量(Zvereva, 2002; 程文杰等, 2010; 郑霞林等, 2012; 王鹏等, 2014)。糖原和脂肪是两种重要的能量储备物质，一般情况下，脂肪和糖原含量越多，昆虫的抗寒能力越强(Adedokun and Denlinger, 1984; 曹婧等, 2015)。Liu 等(2007)发现取食不同寄主植物的棉铃虫体重、含水量及糖原和脂肪含量有显著差异。同样，取食玉米的桃蛀螟越冬幼虫体重和脂肪含量均显著高于取食高粱和向日葵的(徐丽荣等, 2012)。本研究结果显示，取食不同寄主植物对二点委夜蛾体内脂肪和糖原含量产生了显著影响，取食棉花叶片的二点委夜蛾老熟幼虫的脂肪和糖原含量最高，取食玉米和花生叶片的脂肪和糖原含量次之，这可能是由于不同寄主植物为二点委夜蛾提供的营养物质不同造成的。此外，不同寄主植物对二点委夜蛾老熟幼虫体重有显著影响，其中取食玉米叶片的幼虫最重，取食大豆叶片的鲜重最轻，说明玉米叶片中的成分最有利于二点委夜蛾幼虫的生长。从结果来看取食不同能寄主植物的二点委夜蛾老熟幼虫含水量及山梨醇含量均无显著差异，但可以看出，取食大豆的二点委夜蛾老熟幼虫含水量最高，过冷却点和结冰点最高，脂肪和糖原含量最低，取食棉花的二点委夜蛾老熟幼虫则相反，含水量最低，过冷却点和结冰点也最低，脂肪和糖原含量最高。这与对二化螟 *Chilo supperssalis* (Walker)(张拥军, 2007)、桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham (王鹏等, 2011)的研究结论相似，含水量下降，过冷却点和结冰点降低。因此推测脂肪和糖原是二点委夜蛾的抗冻耐寒物质，糖原、脂肪、含水量与二点委夜蛾的耐寒性相关，这与刘玉娟等(2014)的研究结论一致。

本研究结果显示，寄主植物对二点委夜蛾老熟幼虫的过冷却点没有影响，但对其体重及耐寒性物质糖原和脂肪的含量有显著影响，推测二点委夜蛾体内的抗寒性物质有多种，亦可能是一个复杂的抗寒性物质系统，二点委夜蛾通过调节各物质含量比例来抵抗低温伤害。韩瑞东等(2005)的研究证明，赤松毛虫 *Dendrolimus spectabilis* 越冬幼虫的抗寒物

质是一个系统,即小分子碳水化合物类-糖蛋白-氨基酸类。本研究仅对二点委夜蛾老熟幼虫体内几种生化物质进行了测定,探明寄主植物对二点委夜蛾耐寒性究竟有没有影响,还需要进一步测定不同寄主植物饲喂的二点委夜蛾幼虫低温下的存活率,其抗寒机理及抗寒性物质是否是一个系统也是需要进一步深入研究的内容。

参考文献(References)

Adedokun TA, Denlinger DL, 1984. Cold-hardiness: a component of the diapause syndrome in pupae of the flesh flies, *Sarcophaga crassipalpis* and *S. bullata*. *Physiol. Entomol.*, 9: 361－364.

Cao J, Ouyang F, Ge F, Yang ZX, Xiao TG, 2015. Hardiness characteristics of the overwintering generation of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) feeding on Bt cotton and corn. *Acta Entomologica Sinica*, 58(1): 45－52. [曹婧, 欧阳芳, 戈峰, 杨中侠, 肖铁光, 2015. 取食 Bt 棉与玉米的越冬代棉铃虫抗寒性特征比较. 昆虫学报, 58(1): 45－52]

Cheng WJ, Quan WL, Zheng XL, Lei CL, Wang XP, 2010. Effect of host plants on cold hardiness of insects. *Journal of Environmental Entomology*, 32(4): 532－537. [程文杰, 全为礼, 郑霞林, 雷朝亮, 王小平, 2010. 寄主植物对昆虫抗寒力的影响. 环境昆虫学报, 32(4): 532－537]

Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226(1): 497－509.

Han RD, Sun XG, Xu YY, Zhang WG, 2005. The biochemical mechanism of cold-hardiness in overwintering larva of *Dendrolimus spectabilis* Butler (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Acta Ecologica Sinica*, 25(6): 1352－1356. [韩瑞东, 孙绪艮, 许永玉, 张卫光, 2005. 赤松毛虫越冬幼虫生化物质变化与抗寒性的关系. 生态学报, 25(6): 1352－1356]

Jiang JY, Li XQ, Xu YH, Li ZH, Zhang ZY, Xu H, 2008. Preliminary studies on *Athetis* (*Proxenus*) *lepigone*. *Plant Protection*, 34(3): 123－126. [姜京宇, 李秀芹, 许佑辉, 李智慧, 张志英, 许昊, 2008. 二点委夜蛾研究初报. 植物保护, 34(3): 123－126]

Jiang JY, Xi JY, 2006. Tendency of crop diseases and insect pests in Hebei Province in 2005. *China Plant Protection*, 26(7): 45－47. [姜京宇, 席建英, 2006. 河北省 2005 年农作物病虫新动态概述. 中国植保导刊, 26(7): 45－47]

Jiang XF, Yao R, Lin ZF, Zhang L, Luo LZ, 2011. Morphological and biological characteristics of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 134－137. [江幸福, 姚瑞, 林珠凤, 张蕾, 罗礼智, 2011. 二点委夜蛾形态特征及生物学特性. 植物保护, 37(6): 134－137]

Jiang YY, Li XQ, Liu L, Xu H, Zhang ZY, An LY, 2011. Preliminary report monitoring technology of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 141－143. [姜玉英, 李秀琴, 刘莉, 许昊, 张志英, 安丽云, 2011. 二点委夜蛾的监测技术初报. 植物保护, 37(6): 141－143]

Jing XH, Kang L, 2004. Overview and evaluation of research methodology for insect cold hardiness. *Entomological Knowledge*, 40(1): 7－10. [景晓红, 康乐, 2004. 昆虫耐寒性的测定与评价方法. 昆虫知识, 40(1): 7－10]

Li LL, Li ZB, Yu Y, Zhang AS, Men XY, Zhou XH, Zhuang QY, Zhai YF, 2013. A new method for rearing of *Athetis lepigone*. China Patent: CN103340181A, 2013-10-09. [李丽莉, 李召波, 于毅, 张安盛, 门兴元, 周仙红, 庄乾营, 翟一凡, 2013. 一种供试二点委夜蛾的人工饲养方法. 中国专利: CN103340181A, 2013-10-09.

Li ZB, Li JW, Zhao N, Yu Y, Zhang AS, Zhai YF, Li LL, 2014. Determination of the larval instars of *Athetis lepigone* (Möschler). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1350－1355. [李召波, 李静雯, 赵楠, 于毅, 张安盛, 翟一凡, 李丽莉, 2014. 二点委夜蛾幼虫虫龄的测定. 应用昆虫学报, 51(5): 1350－1355]

Liu YJ, Zhang TT, Bai SX, He KL, Wang ZY, 2014. Changes of cold hardiness of the overwintering larvae of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) at different overwintering stages. *Acta Entomologica Sinica*, 57(3): 379－384. [刘玉娟, 张天涛, 白树雄, 何康来, 王振营, 2014. 越冬期不同阶段二点委夜蛾越冬幼虫耐寒性变化. 昆虫学报, 57(3): 379－384]

Liu ZD, Gong PY, Heckel DG, Wei W, Sun JH, Li DM, 2009. Effect of larval host plants on over-wintering physiological dynamics and survival of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Physiol.*, 55: 19.

Lu JQ, Wang ZY, He KL, Liu Y, 2009. The supercooling point of overwintering larvae of the yellow peach moth, *Dichocrocis punctiferalis*. *Plant Protection*, 35(2): 44－47. [鹿金秋, 王振营, 何康来, 刘勇, 2009. 桃蛀螟越冬老熟幼虫过冷却点测定. 植物保护, 35(2): 44－47]

Ma JF, Wang YQ, Li LT, Liu L, Gan YJ, Dong ZP, 2011. Study on supercooling points and overwintering stage of *Athetis lepigone*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(9): 1－3. [马继芳, 王玉强, 李立涛, 刘磊, 甘耀进, 董志平, 2011. 二点委夜蛾过冷却点测定及越冬虫态分析. 河北农业科学, 15(9): 1－3]

Shi J, Wang ZY, Jiang YY, Shan XN, Zhang HJ, Wang J, Ge X, 2011. Preliminary report on investigation of the overwintering sites of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 138－140. [石洁, 王振营, 姜玉英, 单旭南, 张海剑, 王静, 戈星, 2011. 二点委夜蛾越冬场所调查初报. 植物保护, 37(6): 138－140]

Wang P, Yu Y, Men XY, Zhang SC, Zhang AS, Xu YY, Li LL, 2011. Dynamics of cold-resistant substances in overwintering cocooned and noncocooned larvae of the peach fruit moth, *Carposina niponensis* Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(3): 279－285. [王鹏, 于毅, 门兴元, 张思聪, 张安盛, 许永玉, 李丽莉, 2011. 越冬过程中桃小食心虫结茧和裸露幼虫体内耐寒性物质动态变化. 昆虫学报, 54(3): 279－285]

Wang P, Yu Y, Xu YY, Li LL, Zhang AS, Men XY, Zhang SC, Zhou XH, 2014. Effects of different host plants on the cold-resistant substances in overwintering larvae of *Carposina sasakii* Matsumura

(Lepidoptera: Carposinidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25(5): 1513-1517. [王鹏, 于毅, 许永玉, 李丽莉, 张安盛, 门兴元, 张思聪, 周仙红, 2014. 寄主植物对桃小食心虫越冬幼虫耐寒性物质的影响. 应用生态学报, 25(5): 1513-1517]

Xu H, Lv SL, Li XQ, Jiang JY, Ma JF, Xu YH, 2012. Research on host fields of generations of *Athetis lepigone*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 16(12): 8-11. [许昊, 吕书亮, 李秀芹, 姜京宇, 马继芳, 许佑辉, 2012. 河北省二点委夜蛾各代寄主田调查. 河北农业科学, 16(12): 8-11]

Xu LR, He KL, Wang ZY, 2012. Studies on variation in cold hardiness in relation to the *in vivo* water, lipid, and sugar content of *Conogethes punctiferalis* (Guenée) larvae living on three different host plant species. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(1): 197-204. [徐丽荣, 何康来, 王振营, 2012. 不同寄主上桃蛀螟越冬幼虫体内生化物质变化与抗寒性研究应用. 应用昆虫学报, 49(1): 197-204]

Yang YT, Xie BY, Gao ZX, Liu ZD, Li DM, 2003. Effect of host plants on cold hardiness of overwintering pupae of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Entomological Knowledge*, 40(6): 509-512. [杨燕涛, 谢宝瑜, 高增祥, 刘柱东, 李典谟, 2003. 寄主植物对棉铃虫越冬蛹抗寒能力的影响. 昆虫知识, 40(6): 509-512]

Zhang HJ, Shi J, Wang ZY, Qin YY, 2012. Preliminary investigation of the overwintering developmental stage of *Athetis lepigone* and the special distribution in overwintering sites. *Plant Protection*, 38(3): 146-150. [张海剑, 石洁, 王振营, 秦艳宇, 2012. 二点委夜蛾越冬虫态及越冬场所的空间分布调查初报. 植物保护, 38(3): 146-150]

Zhang YJ, 2007. Studies on the Cold Hardiness and Mechanism of Overwintering Larva of *Chilo supperssalis* (Walker). MSc Thesis, Central China Agricultural University, Wuhan. [张拥军, 2007. 二化螟越冬幼虫耐寒性及其机理研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文]

Zheng XL, Quan WL, Cheng WJ, Lei CL, Wang XP, 2012. Effect of host plants on cold-hardiness of 3rd instar larvae of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1461-1467. [郑霞林, 全为礼, 程文杰, 雷朝亮, 王小平, 2012. 寄主植物对甜菜夜蛾三龄幼虫抗寒力的影响. 应用昆虫学报, 49(6): 1461-1467]

Zvereva EL, 2002. Effects of host plant quality on overwintering success of the leaf beetle *Chrysomela lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Eur. J. Entomol.*, 99: 189-195.

(责任编辑: 赵利辉)